

MIKROSZERKEZET KIALAKULÁSA HAGYOMÁNYOS ÉS INNOVATÍV ANYAGGYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK SORÁN

Fábián Dominika^a, Karker László^a, Sidor Juriy^{b*}

^a ELTE, Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, Gépészmérnöki BSc, 3. évf.

^b ELTE, Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi tanár

ABSZTRAKT

A szerkezeti anyagok egyik fontos mikroszerkezeti jellemzője a diszlokációsűrűség, amely segítségével következtetéseket vonhatunk le az anyag egyéb tulajdonságaira vonatkozóan. Az alapján, hogy képlékeny alakítás során a diszlokációsűrűség arányos az anyagban felhalmozott deformációs energiával egy olyan módszer kialakítására törekedtünk, amellyel megfelelő pontossággal határozhatjuk meg a hengerlés során fellépő deformáció okozta diszlokációsűrűség-változást. Mikrokeménység-méréssel létrehozott lenyomatok elmozdulásából meghatároztuk a jellemző irányokhoz tartozó deformációkat, majd az ezekhez tartozó feszültségek kiszámításával megbecsültük az anyagban felhalmozott deformációs energiát, ami alapján kiszámítottuk a diszlokációsűrűséget. Megállapítottuk, hogy a hengerelt minták szélei felé fokozatosan nő a diszlokációsűrűség a nyíró igénybevétel miatt.

Kulcsszavak: mikroszerkezet, diszlokációsűrűség, alumínium ötvözet

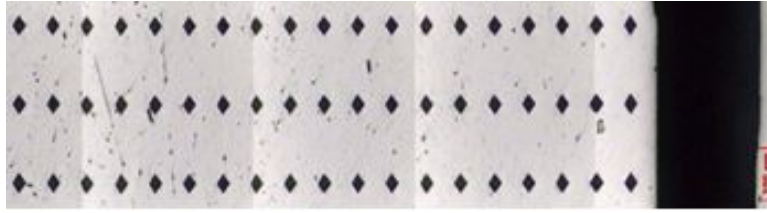
1. Bevezetés

A technológiai fejlődésnek köszönhetően az anyagtudományban folyamatosan új lehetőségek és módszerek alakulnak ki az egyes anyagszerkezeti változások meghatározására. Ezek közül a legtöbbet alacsony költségvetésből lehetetlen kivitelezni, például elektronmikroszkóp és röntgensugaras berendezés hiányában. A modellparaméterek meghatározása általában csak valamilyen bonyolult és költséges berendezéssel vagy módszerrel lehetséges, amilyen például a transzmissziós elektronmikroszkóp, a röntgen vonal profil analízis (XLPA - X-ray Line Profile Analysis), a maradék elektromos ellenállásmérés (RER - Residual Electrical Resistivity), vagy a differenciális pásztázó kalorimetria (DSC - Differential Scanning Calorimetry). Szinte valamennyi számítási módszer csak a mikroszerkezeti jellemzőkre támaszkodik és általános jelenség, hogy a kutatók nem próbálnak kapcsolatot teremteni a mikro- és a makro szintű jellemzők között. A mikroszerkezeti jellemzők meghatározása azonban jóval költséghatékonyabb és egyszerűbb lenne makroszintű paraméterek alapján.

Célunk egy olyan módszer kidolgozása volt, amely alkalmazásakor az anyag mikroszerkezeti jellemzői gyorsan és egyszerűen meghatározhatóak, magas költségvetésű berendezések használata nélkül. Továbbá, hogy a diszlokációsűrűséget ne csak lokálisan, hanem az egész szerkezetre kiterjedően állapítsuk meg, így kapcsolatot teremtve a mikro- és makro szint között.

2. Anyag és módszer

AA1050-es alumíniumot választottunk a minták alapanyagául, mivel ez az anyag egy technikai tisztaságú (99,5%) szín alumínium, így a kiválások nem befolyásolják a mérési és számítási eredményeinket. A jelenlegi gyakorlati módszerek csak lokális szintű vizsgálatokat alkalmaznak, ezzel szemben az álta-



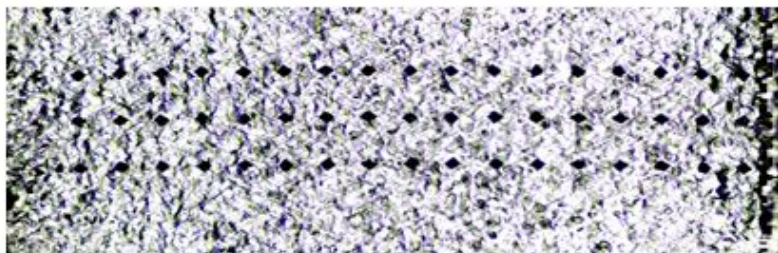
1. ábra: Lenyomatok a lemez oldalán hengerlés előtt

lunk kidolgozott módszer nem egy szemcsén belül, hanem a teljes szerkezetre vonatkozó reprezentatív értéket számítva ad általános érvényű eredményt. A mikrokeménység-méréssel készített lenyomatok elmozdulásából deformációt számoltunk, majd ebből határoztuk meg a diszlokációsűrűséget.

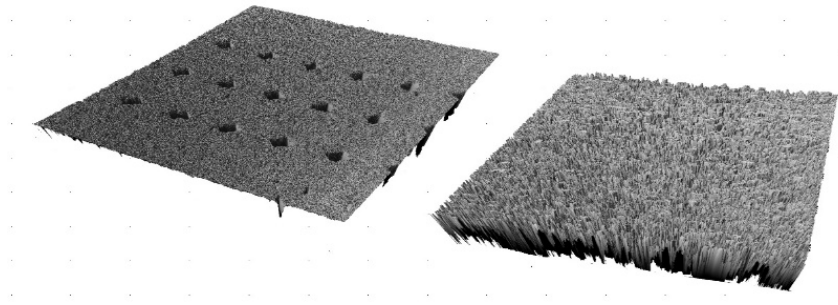
A módszer alkalmazásának alapfeltétele a megfelelő minta-előkészítés. A hagyományos vizsgálatok során a minták előkészítésének alapfolyamata a következő: kivágás, beágyazás, csiszolás majd polírozás. Esetünkben a folyamatot kiegészítettük hőkezeléssel és beágyazásra nem volt szükség, mivel nagyméretű mintát kellett használnunk, hogy mikrokeménység-méréssel lenyomatokat tudjunk létrehozni azon. Első lépésként táblalemezből kivágtuk a mintákat, majd hőkezeltük ezeket így csökkentve a megmunkálás során keletkezett maradó feszültségeket és minimalizálva az anyagszerkezetben esetlegesen fellépő szerkezeti változásokat. Az előkészítés lépései során a lehető legkisebb hőfejlődésre törekedtünk. A hőkezelési idő növelésével egyre finomabb szerkezetet kaptunk, valamint a rácshibák egyre nagyobb mértékben csökkentek. A hőkezelés hőmérséklete is jelentősen befolyásolta azt, hogy milyen mértékben jelentkeztek diszlokációk az anyagban. Minél magasabb volt a hőkezelési hőmérséklet, annál alacsonyabb lett a diszlokációsűrűség.

A csiszoláshoz szilícium karbid csiszoló papírt használtunk (400, 600, 800 és 1000-es szemcseméretűt) és mindig a nagyobb szemcsemérettel kezdtünk, majd haladtunk az egyre kisebb felé. Ennél a műveletnél az előkészítési idő befolyásolta legnagyobb mértékben a felület minőségét. Azt tapasztaltuk, hogy azoknál a mintáknál amelyeknél a kelleténél hosszabb ideig történt csiszolás, az előkészített felületet az optikai mikroszkóppal nem lehetett megfelelően vizsgálni, valamint a lenyomatmátrix elkészítése sem volt lehetséges, ugyanis a nagy kiterjedésű karcok miatt a szoftver nem ismerte fel az indentálási pozíciókat. Polírozás során 1 és 3 μm -es polírkorongokat alkalmaztunk. A két lépés között fokozottan ügyeltünk a minták megfelelő megtisztítására. Az egyes polírozó műveletek között és polírozás után fontos a felület megtisztítása, amelyet vattával és tisztítószerrel végeztünk. Az utolsó műveletet követő tisztítás után nagynyomású levegővel szárítottuk meg a mintákat, így a mikroszkópon megfelelő minőségben lehetett látni a felületet.

Ezután Vickers mikrokeménység-mérési eljárással, Zwick Roell ZHV μ Micro hardness tester géppel 18x3 pontból álló lenyomatmátrixot alakítottunk ki a minták oldalán 50 gf (0,49 N) terhelést alkalmazva (1. ábra). Minden esetben a minta közepén hoztuk létre a lenyomatmátrixot, mivel itt jelentkezett legkisebb mértékű deformáció.



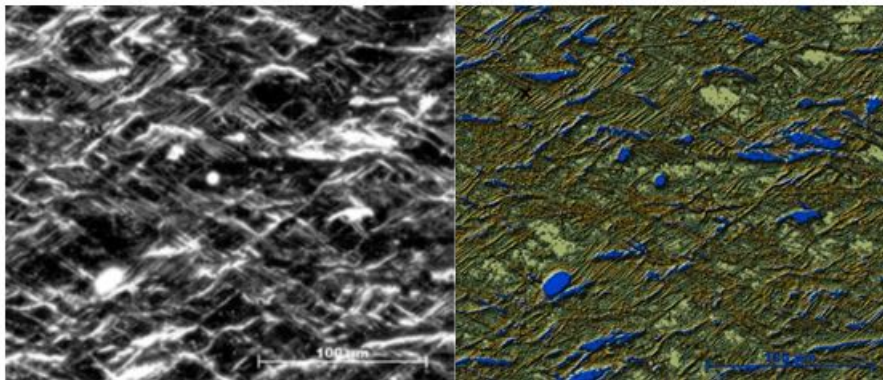
2. ábra: Lenyomatok a lemez oldalán hengerlés után (33,5% deformáció)



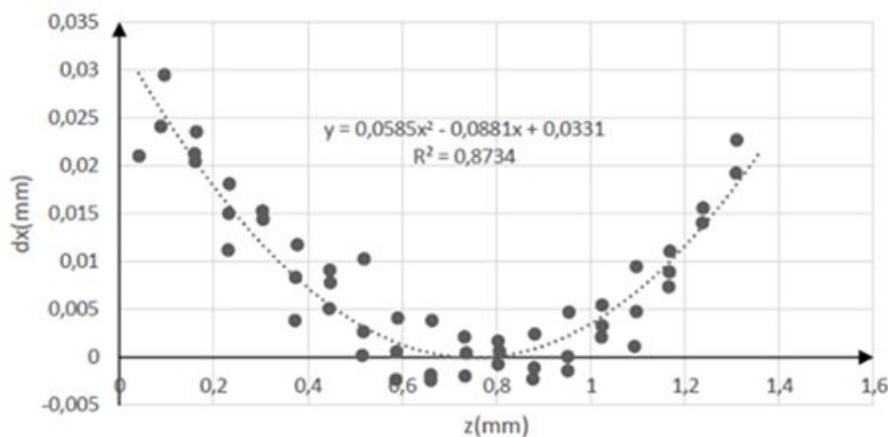
3. ábra: 3D felületmodellek polírozás után (bal) és hengerlést követően (jobb)

Ezután Axio Imager A2.m optikai mikroszkóp szoftver segítségével meghatároztuk a lenyomatok koordinátáit, majd szimmetrikus hengerlést végeztünk, amely során 33,5%-os deformációt alkalmaztunk. A képlékeny alakítás után felvételt készítettünk a deformált lenyomatokról (2. ábra), majd ezt követően a keménységmérő műszeren kézi beméréssel meghatároztuk a lenyomatok új helyzetét.

Megvizsgáltuk a minták felületi érdekességét is és a képlékeny alakítás hatását háromdimenziós felületmodellekkel szemléltettük (3. ábra). Ezután a hengerlés következtében kialakuló nyírási síkokat elemeztük. Ezeket csak úgy tudtuk megjeleníteni, ha az optikai mikroszkóp által készített képet egy képelemző program segítségével térbeli hatásúvá alakítottuk át (4. ábra). Végül elemeztük a lenyomatok elmozdulásait is. A hengerlés menti elmozdulást a lemeztvastagság függvényében ábrázoltuk, majd a pontfelhőre másodfokú polinomot illesztettünk (5. ábra).



4. ábra: 3D felületmodellek polírozás után (bal), deformációt követően (jobb)



5. ábra: Deformáció során elmozdult pontok koordinátái a lemeztvastagság mentén

A polinom általános egyenlete:

$$dx(z) = az^2 + bz + c, \quad (1)$$

ahol a , b és c paraméterek. A mérnöki szögtorzulás kiszámításához a görbe deriváltját használtuk:

$$dx'(z) = 2az + b. \quad (2)$$

A nagy szórás kezelése érdekében a lemezzvastagság mentén szimmetrikusan 20 pontot vettünk fel. Ezt követően a keménységmérési pontok elmozdulásaira illesztett görbe egyenletét felhasználva kiszámítottuk a közelítő elmozdulást a felvett pontokban. A mérnöki deformációkat és a szögtorzulást az alábbi összefüggésekkel határoztuk meg [1]:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_0}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta z}{z_0}, \quad (4)$$

$$\gamma_{xz} = 2az + b. \quad (5)$$

A von Mises elmélet [2] alapján a redukált deformáció:

$$\varepsilon_{red} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3(\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2 + \varepsilon_{zz}^2)}{2} + \frac{3(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}{4}}. \quad (6)$$

A (6)-os egyenletet alkalmazva a valódi deformáció (φ) és a valódi feszültség ($\sigma(\varphi)$) a mérnöki deformációból [1]:

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon_{red}), \quad (7)$$

$$\sigma(\varphi) = C_1 + C_2 \cdot \varphi^n, \quad (8)$$

ahol:

- C_1 , a folyáshatár,
- C_2 , a keményedési együttható,
- n , a keményedési kitevő.

Az egységnyi térfogatban felhalmozott deformációs energia [1]:

$$\sigma = f(\varepsilon_{red}) \mapsto E = \frac{1}{2} \sigma_{red} \varepsilon_{red}. \quad (9)$$

A diszlokációsűrűség (ρ) pedig az alábbi összefüggés alkalmazásával számítható [3]:

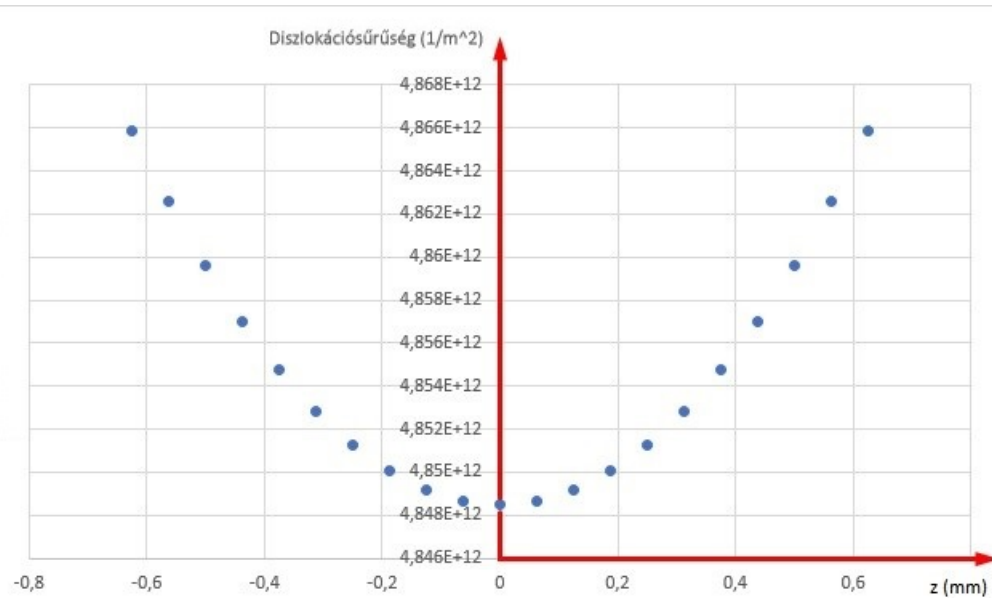
$$\rho = \frac{E_d}{\alpha G b^2}, \quad (10)$$

ahol:

- α , geometriai állandó,
- G , a csúsztató rugalmassági modulus,
- b , a Burgers vektor.

3. Eredmények és következtetések

A (9) és (10) összefüggésekkel kiszámítottuk a hengerelt mintában felhalmozódott deformációs energiát, majd a diszlokáció sűrűséget, amit a lemezzvastagság függvényében diagramon ábrázoltunk. A 6. ábrán látható, hogy a diszlokációsűrűség heterogén a lemezzvastagság mentén.



6. ábra: A diszlokációsűrűség változása a felvett pontok koordinátái mentén

A diagramból látszik (6. ábra), hogy középről indulva a vastagság mentén a lemez szélé felé folyamatosan nő a diszlokációsűrűség, amely azzal is összefüggésben van, hogy a hengerlés során fellépő nyíró igénybevétel a szélső felületeken a legnagyobb. Még szimmetrikus hengerlés során is jelentős a diszlokációsűrűség-gradiens, ami ahhoz vezet, hogy mindegyik rétegben eltérőek lesznek az anyagtulajdonságok. Mivel a diszlokációsűrűség heterogén, a hőkezelési kinetika mindegyik rétegben más lesz, mivel a hajtóerőre más hatást fejt ki (csíráképződés). Vagyis az esetleges hőkezeléssel sem tudjuk a kristálytextúrában kialakult inhomogenitásokat megszüntetni, aminek fontos szerepe lesz a további megmunkálások során.

4. Köszönetnyilvánítás

A munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00018 “A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt keretében valósult meg.

5. Irodalomjegyzék

- [1] W.D. Callister, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, Fifth edition, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [2] B.S. Mitchell, *An Introduction To Materials Engineering And Science*, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2004.
- [3] O. Güvenc, T. Henke, G. Laschet, B. Böttger, M. Apel, M. Bambach, G. Hirt, *Modeling Of Static Recrystallization Kinetics By Coupling Crystal Plasticity Fem And Multiphase Field Calculations*, Computer Methods In Materials Science 13(2), 2013, pp. 368–374